

# 基于真实情境问题导向的课堂教学实践\*

## ——以“磷尾矿的综合利用”为例

李冉<sup>1\*\*</sup> 史文杰<sup>1</sup> 郭玉林<sup>2</sup> 田巧云<sup>1</sup>

(1 对外经济贸易大学附属中学 北京 100102; 2 北京市朝阳区教研中心 北京 100028)

**摘要:**对“自然资源的综合利用”一节教学内容进行了适当补充,以磷尾矿的综合利用为素材,充分发挥化工生产情境的教学价值。引导学生多角度认识化学反应,并能基于化学反应规律构建资源转化为产物的基本模型,在解决问题的过程中深化对知识的理解和掌握,有效落实化学核心素养。

**关键词:**自然资源的综合利用;化工生产情境;磷尾矿;教学实践;核心素养

**文章编号:**1002-2201(2025)02-0010-04

**中图分类号:**G632.4

**文献标识码:**B

### 一、教学主题内容分析

本节课选自人教版高中化学必修第二册第八章“化学与可持续发展”第一节“自然资源的开发利用”。《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》<sup>[1]</sup>要求“以海水、金属矿物等自然资源的综合利用为例,了解化学方法在实现物质间转化中的作用,认识化学在自然资源综合利用方面的重要价值”。本文结合实际情况,对教学内容进行了适当补充,以磷尾矿的综合利用为素材,在把磷尾矿转化为钙、镁化合物和磷酸等产品的过程中,综合运用物质性质、化学反应原理(速率、限度)、定量分析等知识,引导学生多角度认识化学反应,认识资源的开发利用必须遵循化学变化的一般规律,并能基于这些变化构建资源转化为产品的基本模型,把教材中的知识转化为自己加工和创新的知识。

本案例的主要内容为:(1)用煅烧、浸取等方法处理磷尾矿,分离钙、镁化合物;(2)控制条件分别通入 $\text{CO}_2$ 、氨水,获得碳酸钙和氢氧化镁产品;(3)用粗磷酸返酸和硫酸处理 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{F}$ 获得磷酸产品;(4)构建分析工业生产的思维模型。通过本节课,复习归纳所学知识并应用于实际,对化学与可持续发展有关思路和观念进行总结和提升。

### 二、教学创新点

1. 充分挖掘真实工业生产背景中蕴含的学科价值,通过不同复杂和陌生程度的问题解决活动,激发各层次学生的学习兴趣,鼓励学生将化学知识运用于生产生活实践,解决真实问题,引导学生构建资源开发利用的基本思路。

2. 在教学中借助化工流程图将术语、符号、文字、图示等集成为复杂的认知模型,引导学生重构内部经验,通过设计典型的、阶梯性的、迁移性的问题串,将学生思维从孤立的概念关联成知识体系,帮助学生养成提问、反思、归纳和整合等高层次的思维模式,促进学科知识转化为学科核心素养。

### 三、教学目标

1. 通过对磷尾矿综合利用工业流程的分析,理解复分解反应在物质转化中的应用,构建物质分离与转化的一般思路。

2. 能从化学的角度分析从自然资源到产品的转化途径,认识化学方法在实现物质转化中的作用和贡献,感受化学科学在生产生活中的应用价值。

3. 能对资源的开发利用进行评价,体会“资源综合利用,清洁生产”的化工生产思想。

### 四、教学流程

具体教学流程见表1。

\*北京市朝阳区教育科学规划课题“促进学生‘证据推理与模型认知’素养发展的单元整体教学实践研究”(课题编号:2022YB259)研究成果。

\*\*通讯作者, E-mail: 1726952969@qq.com。

表1 教学流程

| 教学环节       | 教师活动                                         | 学生活动                                               | 设计意图                                  |
|------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 环节1: 原料处理  | 组织学生阅读化工流程<br>引导学生分析粉碎、煅烧、浸取等操作的目的           | 圈画并描述核心元素转化路径<br>分析操作目的和反应原理                       | 归纳资源到产品的转化途径;<br>明确控制条件对反应的影响         |
| 环节2: 沉钙、沉镁 | 引导学生分析溶浸温度对碳酸钙产率的影响<br>组织学生分析实现循环利用的物质       | 结合溶浸原理,分析溶液成分,进而分析沉钙原理,寻找影响因素<br>依据所写反应,寻找可循环利用的物质 | 明确成分分析对原理分析的作用;体会“资源综合利用,清洁生产”的化工生产思想 |
| 环节3: 制备磷酸  | 组织学生讨论先后使用粗磷酸、硫酸获得磷酸的原理和合理性<br>组织学生计算磷酸产品的纯度 | 提取信息分析原理<br>分析不可单独使用硫酸的原因<br>定量分析,列式计算             | 明确物质性质对原料选择的影响;强化定量分析意识               |
| 环节4: 小结    | 引导学生归纳化工流程思维模型                               | 归纳分析化工流程问题的思维模型                                    | 形成思维模型                                |

## 五、教学过程

### 1. 处理原料,分离钙镁化合物

[引入]高纯碳酸钙、高纯氢氧化镁、磷酸等是重要的电子工业原料,加强磷尾矿的综合利用既可以解决磷资源匮乏问题,还可以同时获得以上产品。某地区磷尾矿的主要成分有  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ 、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等<sup>[2]</sup>,回收利用磷尾矿中有价值元素的流程如图1所示。

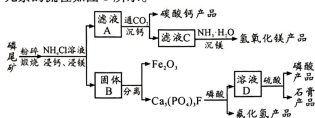


图1 磷尾矿综合利用工业流程

[思考]流程中有价值的Ca、Mg、P元素,它们的转化路径分别是什么?

[学生]阅读文字及流程信息,在图1中圈注(见图2)并描述Ca、Mg、P的转化路径:一条线是钙、镁化合物浸取后得到滤液A( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ),沉钙获得碳酸钙,滤液C中 $\text{Mg}^{2+}$ 经沉镁获得氢氧化镁。另一条线是未被浸取的固体分离得到 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ·F,溶解在溶液D中,再与硫酸反应得到磷酸和石膏。

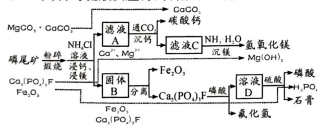


图2 学生圈画的元素转化线

[小结]分析资源到产品的过程,一般要依据流程给定的线索和步骤,结合物质性质厘清有关反应和操作,通过分离、提纯和转化直至获得产品。资源到产品的转化途径:原料 $\xrightarrow{\text{分离}} \xrightarrow{\text{转化}}$ 产品。(类别通性、氧化性)

原料需要先经过粉碎、煅烧或浸取等预处理操作,以方便后续转化。

[问题1]粉碎的目的是什么?结合化学方程式说明煅烧的目的。

[学生]增大接触面积,加快反应速率。煅烧:  
 $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ 。

[问题2]将CaO和MgO浸取为 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 可以使用什么试剂?写出离子反应方程式。

[讨论]酸。因为CaO和MgO是碱性氧化物,可以与酸反应生成对应盐。 $\text{CaO} + 2\text{H}^+ = \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ,  
 $\text{MgO} + 2\text{H}^+ = \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ 。

[质疑] $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 也是碱性氧化物,也能与酸反应,与后续分离 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 不符。

[实验] $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 可以与酸发生反应(见图3)。

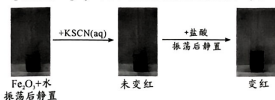


图3 氧化铁与酸反应

[问题3] $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 溶液是工业常用的浸钙、浸镁试剂之一。以CaO为例,分析 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 溶液浸取原理,写出化学方程式或离子方程式。



[分析]  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} (\text{OH}^- + \text{NH}_4^+ = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ 。

[实验] 硝酸铵溶液浸取  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的效果对比 (见图4)。

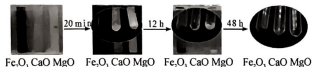


图4 硝酸铵溶液浸取  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的效果对比

[问题4] 分析实验现象, 解释浸取效果有差异的原因。

[分析]  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  与水容易反应。浸取液中  $c(\text{OH}^-)$  较大, 与  $\text{NH}_4^+$  反应速率快, 溶解快。

[实验] 用水浸取  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的效果对比 (见图5)。

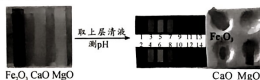


图5 用水浸取  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的效果对比

[结论]  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  更易与水反应, 产生的  $c(\text{OH}^-)$  更大, 使溶浸效果更好。

[小结] 浸钙、浸镁原理:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

## 2. 制得碳酸钙和氢氧化镁产品

[问题5] 溶浸时若温度过高 ( $> 90^\circ\text{C}$ ), 会导致沉钙时碳酸钙的产率降低。可能原因是什么?

[学生疑惑] 温度高会使溶浸速率加快, 效率更高, 应该有利于后续沉钙。

[教师] 先分析沉钙过程, 在反应中寻找答案。

[问题6] 向滤液A通入  $\text{CO}_2$  可以沉钙。有同学认为反应原理是  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{HNO}_3$ , 你同意吗?

[学生1] 不同意, 碳酸钙可溶于酸, 上述反应无法发生。

[学生2] 需要全面分析滤液A中的物质成分。结合浸钙、浸镁原理, 滤液A中还有  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 在沉钙步骤吸收  $\text{CO}_2$  形成碳酸盐从而沉钙:  $2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{Cl}$ 。

[实验] 将  $\text{CO}_2$  分别通入  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液 (见图6左)、氨化的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液 (见图6右) 中。



图6  $\text{CO}_2$  通入  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液、氨化的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  溶液对比

[学生] 沉钙总反应:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 。

[教师] 溶浸时温度过高, 为什么会导导致沉钙时碳酸钙的产率降低?

[学生] 溶浸温度过高, 反应中产生的氨挥发, 沉钙时溶液中氨的浓度减小, 吸收  $\text{CO}_2$  的能力下降, 沉钙率降低。

[实验]  $\text{CaO}$  与硝酸铵溶液反应, 温度明显上升, 湿润的红色石蕊试纸变蓝 (见图7)。

[结论]  $\text{CaO}$  溶于硝酸铵放热, 有氨气逸出。溶浸过程应控制温度。

[教师] 逸出的氨气怎么处理?

[学生] 可将逸出的氨气收集后通入滤液A和C, 继续用于沉钙和沉镁。

[教师] 非常好, 这体现了绿色化学的思想。工业生产要节约资源, 实现可持续发展, 应尽量使物质循环利用, 减少排放。从磷尾矿到获得钙镁产品, 整个流程中哪些物质实现了循环利用?

[分析] 观察全部反应, 煅烧产生  $\text{CO}_2$  可用于沉钙, 沉钙、沉镁过程产生的  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  可用于前一步浸钙、浸镁, 浸钙、浸镁产生的  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  可用于沉钙、沉镁。在整个过程中,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  在循环过程中得到充分利用。

[学生]  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $\text{NH}_3$ )、 $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 。

[教师] 过程中产生很少的废物, 充分提高资源的利用效率, 反映了“资源综合利用, 清洁生产”的化工生产思想, 符合“高利用、低排放”的工业实际生产循环模式, 体现了绿色化学理念。

## 3. 制备磷肥

[教师] 溶浸过程中留下的固体B继续处理, 可获得其他产品。

[问题7] 先后用磷酸、硫酸处理  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  获得磷酸产品<sup>[2]</sup>, 分析该过程中的反应。



图7  $\text{CaO}$  与硝酸铵溶液反应

[资料]溶解性:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{CaHPO}_4$  微溶,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  可溶。

[学生1]观察流程,加磷酸后得到溶液D,因此产物应是可溶的  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,书写反应的方程式:  
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 7\text{H}_3\text{PO}_4 = 5\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{HF}$ 。

[学生2]向溶液D中加入硫酸,由流程可知发生反应:  
 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_3\text{PO}_4$ 。

[质疑]为什么制磷酸还要先用磷酸处理?能不能直接用硫酸溶解?

[学生]若直接与硫酸反应,会在  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  固体表面生成硫酸钙薄膜阻碍反应的发生,使产率下降。

[教师]同时,不利于硫酸钙晶体的生长,晶体生长的好坏直接影响着浆料中固液相的分离。过滤所得石膏需进一步洗涤,目的是回收残留在固体中的磷酸,洗涤的洗涤液和部分成品酸混合可用于前一步  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  的溶解<sup>[2]</sup>。

[问题8]测定产品磷酸的浓度。取  $a$  g 所得精制磷酸加适量水稀释,以百里香酚酞作指示剂,用  $b \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 溶液滴定至终点时生成  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,消耗 NaOH 溶液  $c \text{ mL}$ 。求精制磷酸中  $\text{H}_3\text{PO}_4$  的质量分数。 $[M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ g/mol}]$

[分析、计算]过程如下:



$$\begin{array}{ccc} & 2 & 1 \\ \text{成比例} & bc \times 10^{-3} & n \\ & n = 0.5bc \times 10^{-3} \text{ mol} \end{array}$$

$$\text{求数值} \quad w(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{49bc}{1000a} \times 100\%$$

[小结]分析化工流程的思维模型(见图8)。

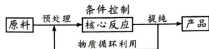


图8 分析化工流程的思维模型

## 六、教学反思

1. 选择真实情境挖掘教学价值,引导学生聚焦核心知识

化学与可持续发展主题内涵丰富、意义深刻,化工生产情境中多变量并存、多要素交织,需要教师二次加工为可被学生接受的情境素材,再结合课程标准和教学目标设计学科问题,确保尽可能地发挥素材价值。

本文根据综合利用磷尾矿真实工业生产的先后

顺序,将流程按照“原料处理—核心反应—分离提纯”工业流程模型的形式重新编制,降低学生提取信息难度,易聚焦于利用物质的化学性质解决问题。同时,从物质转化与反应、化学原理与应用、物质分离与提纯、原料循环与环保等多角度设置了指向清晰明确的问题,鼓励学生注重相关知识的关联和知识体系的整体构建,进而使学生在综合复杂情境下超越表面现象,准确把握问题本质。

2. 依据课本原型设计课堂问题,引导学生知识迁移

解决问题的过程是明晰知识、构建知识体系、完善思维的过程。本流程提出的问题,正是将课本知识活化和迁移后提出的问题,在教学中指导学生阅读教材、熟练掌握教材基础知识,将遇到的问题与课本原型相关联,并迁移至新情境中分析解决问题,使学生体会课本原型对解决综合复杂问题的指导作用。

如环节1,分析磷尾矿煅烧发生的反应时,关联课本原型——煅烧石灰石( $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ ),磷尾矿中的  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  可认为是  $\text{MgCO}_3$  与  $\text{CaCO}_3$  的复合物,二者属于同类物质,性质相似,因此很快得出  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2 \uparrow$ 。

再如环节2,分析浸钙和浸镁原理时,关联课本原型—— $\text{NH}_3$  的实验室制法 [ $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ] 和  $\text{NH}_4^+$  的检验 ( $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ ),可知其本质都是铵盐和碱的反应。在分析沉钙总反应时,关联课本原型——侯氏制碱法 ( $\text{NaCl} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaHCO}_3 \downarrow$ ),可知其本质在于氨气创造碱性环境吸收二氧化碳形成碳酸盐。

综上所述,从情境中提取有用信息,反复调用已有知识,从不同角度、层级解释事物发展规律,说明物质变化的原因,促进对核心知识的深度理解和迁移应用,实现深度学习和素养落地。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版 2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020:24.
- [2] 黄芳,王华,李军旗,等. 磷浮选尾渣矿煅烧铵盐法实验研究[J]. 化工矿物与加工,2010(4):11-12,20.

(本文编辑:阳木)